

INVESTIGATIONS OF ZEMLAND PENINSULAR COASTS IN THE EARLY XX CENTURY

O.I. RYABKOVA, A.V. LEVCHENKOV

Summary

Two applied works by Rudolf Brueckman and Hans Mortensen were published in 1910–1920 being very important till nowadays. They examined morphodynamics of the coasts on Zemland peninsula. R. Brueckman's works labored coastal morphology and dynamics at Palmnicken–Kraxteppelin (Yantarny), at Gross-Dirschkaim (Donskoe) and farther up to Cape Bruesterort (Taran). R.Brueckman analyzed development of the deposits of amber, morphologic features of the coasts and a submarine coastal slope, brought data on dynamics of the coastal zone, obtained during the mapping of the upper edge of the cliff in 1840–1912 and sounding the area in 1875, 1913. He made an attempt to assess impact of pulp dumping into the coastal zone of the west shoreline. H. Mortensen described in a large scale lithology and the steepness of coastal slopes of the cliffs, main mesoforms of slopes, woodiness of the cliff, as well as the morphology of the beach. H. Mortensen paid much attention to development of the slopes and dynamics of the coastal zone. These works are still relevant for monitoring the coastal zone of Zemland Peninsula.

УДК 551.435.31(261.243)

© 2012 г. Д.В. РЯБЧУК, А.М. КОЛЕСОВ, А.Ю. СЕРГЕЕВ,
М.А. СПИРИДОНОВ, В.А. ЖАМОЙДА, Б.В. ЧУБАРЕНКО

АБРАЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА И ИХ СВЯЗЬ С МНОГОЛЕТНИМИ ТРЕНДАМИ РЕЖИМООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ¹

Введение

Суммарная (спрямленная) протяженность берегов российской части Финского залива составляет 520 км. Примерно 40% берегов находятся под воздействием опасных экзогенных процессов. Наиболее подвержен размыву субширотный участок северного побережья от устья р. Приветная до комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС) (рис. 1).

Ежегодный мониторинг состояния берегов, проводившийся ВСЕГЕИ в последнее десятилетие, показывает, что наряду с долговременным постепенным отступанием береговой линии, фиксируются периодические резкие активные размывы. Целью данной работы является выявление и ранжирование основных природных и техногенных факторов, способствующих развитию и активизации абразионных процессов.

Фактический материал и методы исследований

В 2000–2011 гг. специалисты ВСЕГЕИ провели комплексные геолого-геоморфологические исследования береговой зоны Финского залива. В пределах Курортного района Санкт-Петербурга эти работы включали в себя береговые маршруты, нивелировки по сети профилей, гранулометрический анализ осадков пляжа и подводного берегового склона, а также детальные речные промеры последнего. На прибрежных мелководьях выполнено более 1000 км профилирования методом гидролокации

¹ Работа выполнена при поддержке ФЦП “Мировой океан”, ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы”.

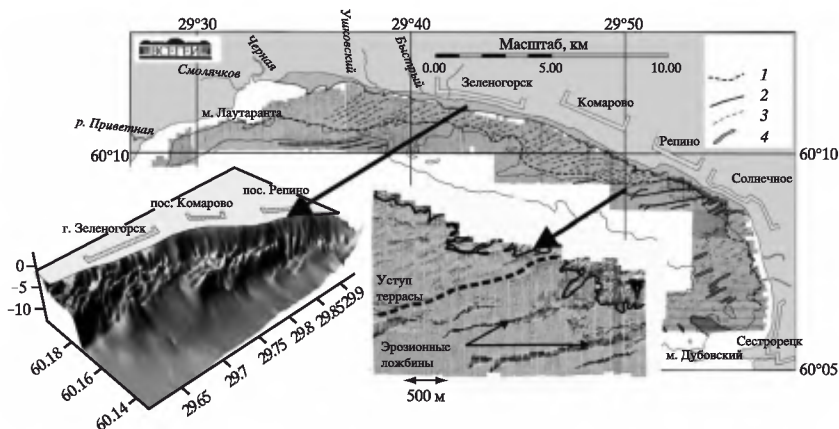


Рис. 1. Особенности рельефа подводного берегового склона Курортного района по данным гидролокации бокового обзора и эхолотирования
 1 – край подводной террасы, 2 – эрозионные ложбины стока, 3 – песчаные гряды на поверхности подводной террасы, 4 – моренные гряды

бокового обзора (ГЛБО) с использованием гидролокатора CM2 (C-MAX Ltd, UK) с полосами обзора 100, 50 и 25 м с каждого борта. ГЛБО сопровождалась прецизионным эхолотированием. Сеть параллельных профилей была заложена с шагом 185 м (при полосе обзора 100 м с каждого борта), что позволило получить площадное изображение дна. Пробы донных осадков отбирались дночерпателем и герметичной грунтовой трубкой. Повторные съемки (около 400 км профилей ГЛБО), позволили проследить динамику изменения рельефа и распределения поверхностных осадков.

Для анализа изменений режимобразующих гидрометеорологических факторов были использованы материалы ГУ Санкт-Петербургский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ГУ СПб ЦГМС-Р).

Анализ береговой зоны СВ части Финского залива и основных факторов, определяющих ее состояние и развитие

На всем протяжении рассматриваемой береговой зоны верхняя часть ее разреза сложена четвертичными накоплениями. На суше они представлены верхнеплейстоценовыми ледниковыми, озерно-ледниковыми и флювиогляциальными образованиями, а также голоценовыми морскими, озерными, эоловыми, аллювиальными отложениями и торфяниками. На дне преобладают выходы морены и голоценовые песчаные осадки. По степени устойчивости к абразии [1] эти отложения относятся к IV (морена) и V (пески, глины) классам, т. е. являются неустойчивыми. В результате размыва морены на берегу и на подводном береговом склоне формируются валунные отмыски [2].

Ориентировка береговой линии от мыса Лаутаранта до восточной окраины пос. Репино способствует наиболее интенсивному воздействию штормов, вызванных З и ЮЗ ветрами. Вдоль северного берега залива выявлена подводная терраса, поверхность которой расположена на глубинах 3–5 м, а подножие – 8–12 м (рис. 1). Сравнение результатов промеров 2005–2008 гг. с батиметрическими картами 1980-х гг. позволило установить, что бровка террасы разрушается и отступает в сторону берега. Размыв подводной террасы достигает максимума напротив Зеленогорска. В настоящее время пятиметровая изобата проходит здесь на расстоянии менее 500 м от береговой линии. Далее к западу поверхность террасы постепенно становится более выровненной, а уступ более крутым. Напротив устья р. Черная терраса практически не нарушена [2].

Вдоль бровки подводной террасы выявлены подводные эрозионные ложбины протяженностью до нескольких километров и шириной 10–50 м (рис. 1). Повторные измерения показали, что эти образования при чрезвычайно малой относительной глубине (30–50 см) устойчивы во времени. На дне ложбин формируются серии валиков ряби, ориентированные перпендикулярно простиранию ложбин, с высотой гребней до 20 см и расстоянием между ними от 50 см до 1 м. Поверхность подводной террасы и дно у ее подножия покрыты мелко-среднезернистыми и крупно-среднезернистыми песками, в то время как валики ряби сложены более грубым материалом (крупно-грубозернистые пески). По подводным ложбинам осуществляются отток воды после штормовых нагонов и перемещение осадочного материала от берега в сторону открытого моря.

В зоне разгрузки потока наносов, обусловленной изменением направления береговой линии с субширотного на субмеридиональное (от пос. Солнечное до г. Сестрорецка), расположена зона долговременной (начиная с позднего голоцена) аккумуляции. Здесь сформировались наиболее широкие песчаные пляжи (до 100–150 м). Однако, по данным ретроспективного анализа материалов аэро- и космосьемки, в настоящее время выдвигания береговой линии не происходит. В южной части зоны берег стабилен, в северной – наблюдается его размыв. Мелководье (глубины менее 2 м) имеет ширину 500–600 м, далее глубины увеличиваются до 5–7 м. Часть поступающих на данный участок в результате вдольберегового перемещения песчаных осадков не идет на наращивание пляжа, а “сваливается” к подножию террасы [2].

Таким образом, береговая зона СВ части Финского залива в пределах Курортно-го района Санкт-Петербурга представляет собой единую литодинамическую систему, для которой естественными являются процессы абразии и вдольберегового перемещения материала на субширотном участке (устье р. Приветная – восточная окраина пос. Репино) и аккумуляции в зоне разгрузки потока наносов (пос. Солнечное – мыс Дубовской). Долговременной тенденцией развития береговой зоны является абразионно-аккумулятивное выравнивание береговой линии.

Следует отметить, что геолого-геоморфологические факторы (устойчивость пород к абразии) определяют долговременные тенденции развития береговой зоны. По данным анализа материалов дистанционного зондирования, средние скорости отступления берега в этом районе составляют 50 см/год, максимальные – 2 м/год. Максимальное отступление берега на отдельных участках пляжей в поселках Серово, Ушково и Комарово достигло 25–39 м за период с 1990 по 2005 г. [3]. Наряду с этим в последнее десятилетие отмечено несколько экстремальных размывов берегов, когда наблюдались значительные преобразования профилей пляжей, формирование и резкое (до 10 м за один шторм) отступление уступа размыва в авантюнах, разрушение объектов береговой инфраструктуры.

В нашей работе [4] приведен детальный анализ гидрометеорологических данных за 2000–2008 гг. Проведенные исследования показали, что основными гидрометеорологическими факторами, определяющими интенсивность литодинамических процессов в береговой зоне Финского залива, являются ветер, волнение, резкие изменения уровня моря и ледовый режим.

Характерной особенностью фоновых литодинамических процессов является их сезонная цикличность. Ежегодно повторяющаяся, особенно в осенне-зимнее время, активизация циклонических процессов приводит к возникновению штормов в восточной части Финского залива. Под воздействием штормовых ветров западного направления и волн большой длины, входящих в горло Финского залива и затем перемещающихся к востоку, в еще более узкую и мелкую часть залива, происходят наиболее значительные подъемы уровня моря. Соответственно, в осенне-зимний период активизируется размыв берегов, а весной и летом даже в областях интенсивной абразии периодически формируются временные песчаные аккумулятивные тела. В то же время экстремальные размывы берегов нарушают сложившееся динамическое равновесие. По данным наблюдений подобные явления в Курортном районе происходили до ввода в строй КЗС при уровне воды на водомерном посту “Горный институт” более 200 см.

Воздействие льда на процессы разрушения берегов может быть двояким. С одной стороны, при определенных гидрометеорологических условиях, приподнятый за счет повышения уровня залива припай, сформированный вблизи берега, может стать причиной разрушения авандюн, прибрежной растительности и сооружений, возведенных вблизи береговой линии. С другой стороны, наиболее опасными с точки зрения нарушения баланса наносов в береговой зоне являются зимние штормы, в ходе которых значительная часть пляжевого материала перемещается как на подводный береговой склон, так и за пределы береговой зоны. С этой точки зрения, устойчивый лед в береговой зоне является естественной защитой песчаных пляжей от зимних штормов.

По данным ГУ СПб ЦГМС-Р на протяжении последнего столетия наблюдается увеличение средней температуры воздуха как в целом за год, так и, что особенно важно, в зимние месяцы. В 2000–2008 гг. средние температуры ноября, декабря и января превышали норму в семи случаях из девяти для каждого из указанных месяцев. Частые положительные аномалии температуры воздуха в восточной части Финского залива приводят к более поздним по сравнению с нормой срокам установления ледового покрова. При средней за 1964–1990 гг. дате устойчивого образования льда (01.12) в зимы 2003–2007 гг. лед образовывался 09.12, 23.11, 06.12, 21.01 соответственно [4]. Указанные тенденции совпадают с результатами исследований по Балтийскому морю в целом [5].

С этой точки зрения, наиболее показательным является сравнение последствий зимних штормов 2004–2005 гг. и 2006–2007 гг. для берегов восточной части Финского залива. Ветер и подъем уровня воды 8–9 января 2005 г. были вызваны циклоном Гудрун, спровоцировавшим катастрофические размывы на берегах юго-восточной Балтики и в Эстонии [6]. В восточной части Финского залива вода поднялась до 239 см (по данным водомерного поста “Горный институт”). Штормовые ЮЗ и З ветры (до 18–20 м/с) фиксировались всеми метеостанциями восточной части Финского залива. В то же время, в Курортном районе опасных размывов берегов не наблюдалось. Причиной этого был сплоченный плавучий лед 9–10 баллов, образовавшийся еще в ноябре 2004 г., и способствовавший защите песчаных пляжей.

Напротив, осенью 2006 – зимой 2007 гг. в исследуемом районе были зафиксированы максимальные с начала нынешнего столетия темпы разрушения берегов, вызванные серией сильных штормов, сопровождаемых подъемом уровня (27 и 28 октября, 15 декабря 2006 г. и 9–16 января 2007 г.). Это объясняется тем обстоятельством, что на фоне аномально теплой погоды, отмечавшейся до третьей декады января, ледовый покров здесь отсутствовал до 1 февраля 2007 г. В ходе осенних штормов в авандюне на всем протяжении пляжа у пос. Комарово сформировался уступ размыва высотой 60–70 см. Волновой переработке подверглись даже наиболее широкие (до 100 м) участки пляжей в г. Зеленогорске, пос. Репино и Солнечном. После январских штормов уступ размыва (высотой до 100 см) в авандюне отступил на 5–7 м и наблюдался на протяжении всего 4-х километрового ее участка в пос. Комарово.

Последствия техногенного воздействия на изучаемом участке береговой зоны весьма разнообразны. Отсутствие научно обоснованной концепции освоения берега и современной эффективной системы берегозащиты для Финского залива, стихийные меры по берегоукреплению, предпринимаемые владельцами объектов береговой инфраструктуры [6] не обеспечивают устойчивое развитие побережья. Такого рода техногенное воздействие на береговую зону локально, приводит к быстрым и четко выраженным морфологическим изменениям в виде уменьшения ширины пляжей, деградации авандюн, расширения валунных бенчей. Более серьезным является влияние крупных молов и причалов, ориентированных перпендикулярно береговой линии. В этом случае деградация песчаных пляжей происходит на расстоянии нескольких километров к востоку от сооружений, а скорости отступления берега достигают 10 м/год [3].

По результатам исследований 2004–2008 гг. [4] был дан прогноз возможного повтора экстремальных размывов берегов при сочетании следующих природных фак-

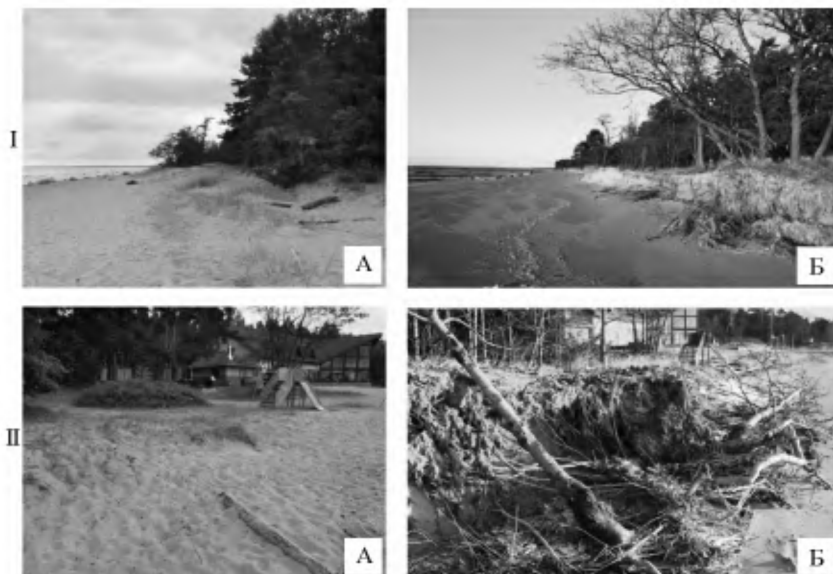


Рис. 2. пляж и авантюна в пределах ООПТ “Комаровский берег”

I–IIА – формы эоловой аккумуляции (19 июля 2011 г.), I–IIБ – дюны размыты, корни деревьев повреждены (28 декабря 2011 г.)

торов: шторма западного направления, подъема уровня воды и отсутствия ледового покрова. Было установлено, что дополнительным фактором, способствующим деструктивным процессам в береговой зоне Курортного района, является повышение уровня воды при закрытии створов КЗС. Результаты моделирования, проведенного К.А. Клеванным (устное сообщение), показали, что при закрытых створах КЗС уровень воды в Курортном районе (к западу от КЗС) при наводнениях будет на 20–30 см выше, чем при ранее существовавших естественных условиях. Нами было показано, что в этом случае количество ситуаций, способствующих экстремальным размывам пляжей, существенно увеличится [4].

Результаты исследований 2009–2011 гг. подтвердили сделанный прогноз. По данным ГУ СПб ЦГМС-Р в 2009 г. значительных подъемов уровня воды в Финском заливе зафиксировано не было. В 2010 г. произошло одно наводнение (16 ноября, подъем уровня 180 см), также не достигшее критической для размыва берегов высоты. Прохождение фронта сопровождалось усилением ветра в прибрежных районах до 20–24 м/сек. При этом декабрьские температуры обоих сезонов впервые за последнее десятилетие были ниже нормы. Среднесуточная температура воздуха зимы 2010–2011 гг. была на -1.9° ниже нормы. Следствием этого было достаточно раннее установление ледового покрова. Создавшиеся условия способствовали постепенному восстановлению авантюн, размытых в ходе штормов 2006–2007 гг. Практически на всем протяжении дюнного пояса в пос. Комарово к лету 2011 г. перед дюнами сформировались эоловые бугры высотой до 50–60 см (рис. 2). Таким образом, 2009 и 2010 гг. характеризовались временной стабилизацией литодинамических процессов. Повторные нивелировки по сети опорных профилей и GPS-съёмка береговой линии не выявили значительных изменений в рельефе пляжа.

Ситуация резко изменилась осенью 2011 г. В сентябре и октябре циклонические процессы с усилением ветра до 20–24 м/с наблюдались достаточно часто. В конце ноября штормовая активность достигла опасного уровня: с 24 по 28 ноября при прохождении циклона с запада скорость ветра достигала 20–21 м/с, что вызвало подъем уровня воды, причем впервые закрытые створы КЗС создали совершенно новую

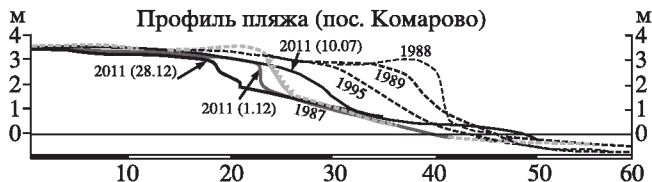


Рис. 3. Изменение профиля пляжа в пос. Комарово 1987 г. – береговая линия отступила в результате серии штормов, сопровождавшихся наводнениями, 1988 г. – осуществлены успешные берегозащитные мероприятия – экспериментальная отсыпка искусственного пляжа, 1989 г. – выработывается профиль равновесия. Искусственная отсыпка пляжа снизила скорость размыва берега до 0.5 м/год (материалы проф. К.К. Орвику), 2011 г. – в результате нескольких штормов ноября–декабря 2011 г. берег отступил на 10 м

ситуацию. Пик подъема уровня воды по внешнему фронту дамб составил 190 см выше ординара, в то время как с внутренней стороны КЗС уровень не превышал +135 см. Оперативные наблюдения в береговой зоне показали, что на всем протяжении пояса авандюны в пос. Комарово сформировался уступ размыва высотой до 70 см, бровка которого отодвинулась в сторону суши на расстояние до 5 м (рис. 3).

В декабре 2011 г. циклонические процессы наблюдались с 10 по 20 декабря, а особой активности достигли в период с 23 по 31 декабря. Наиболее сильный ветер (до 25–28 м/с) западных направлений отмечался в период 26–28 декабря. Уровень воды в Финском заливе стал быстро подниматься, створы КЗС были закрыты. В результате уровень воды в Невской губе не превысил 170 см, однако с внешней стороны дамбы уровень поднялся на 220–235 см (в районе станции Горская, северный берег).

Следует отметить, что декабрь 2011 г. стал вторым в ряду самых теплых декаблей за весь период регулярных наблюдений за погодой. В Санкт-Петербурге среднемесячная температура воздуха составила +1.9 °С (при среднемноголетней –4.6 °С). Ледовый покров на акватории отсутствовал до середины января 2012 г.

В Курортном районе бровка уступа размыва в авандюне отступила еще на 5 м (рис. 3) по сравнению с ее положением после ноябрьского шторма. Уступ местами достиг высоты 1.5 м, были разрушены объекты пляжной инфраструктуры и берегозащитные сооружения, произошло подтопление пониженных участков прибрежных территорий в пос. Репино и у станции Горская. Следует констатировать, что данный шторм привел к максимальному размыву берегов исследуемого района за 25-летний период, (по меньшей мере, с 1987 г). Таким образом, данный нами ранее прогноз полностью оправдался.

Заключение

Геолого-геоморфологические особенности береговой зоны определяют преимущественно долговременные береговые процессы. Увеличению темпов абразии способствуют слабые прочностные свойства отложений, слагающих береговую зону, дефицит наносов, а также рельеф подводного берегового склона.

Гидрометеорологические факторы – подъем уровня воды, штормовые ветры З и ЮЗ направлений и отсутствие ледового покрова – провоцируют экстремальные размывы берегов. В последние годы в осенне-зимний период наблюдалась тенденция к увеличению частоты повторяемости сильных штормов, сопровождаемых подъемом уровня. Отсутствие защитного ледяного покрова вдоль берега как следствие положительных температурных аномалий создавало условия для ранее не наблюдавшихся экстремальных размывов пляжей и авандюн.

В связи с тенденцией к потеплению зим и поздними датами установления ледового покрова, можно прогнозировать увеличение повторяемости экстремальных размывов берегов при подъеме уровня воды и штормах западных направлений. Ввод в строй КЗС коренным образом повлиял на развитие литодинамических процессов в их экстремальных проявлениях. При закрытых створах КЗС угроза размыва берегов с внутренней стороны сооружений (в Невской губе) понижается, однако с внешней, морской стороны, в том числе в пределах Курортного района, интенсивность абразии резко возрастает.

Установленные тенденции делают актуальным осуществление программы берегозащиты на основе междисциплинарного научного подхода, основанного на методах комплексного управления прибрежной зоной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г., Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов. М.: Изд-во МГУ, 1975. 336 с.
2. Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Сухачева Л.Л. и др. Рельеф, геологическое строение и экзогенные геологические процессы береговой зоны Курортного района Санкт-Петербурга // Региональная геология и металлогения. 2008. № 36. С. 109–120.
3. Спиридонов М.А., Рябчук Д.В., Орвику К.К. и др. Изменение береговой зоны восточной части Финского залива под воздействием природных и антропогенных факторов // Региональная геология и металлогения. 2010. № 41. С. 107–118.
4. Ryabchuk, D., Kolesov, A., Chubarenko, B. et al. Coastal erosion processes in the eastern Gulf of Finland and their links with geological and hydrometeorological factors // Boreal Environmental Research. 2011. 16 (suppl. A). P. 117–137.
5. Jevrejeva S., Drabkin V., Kostjukov J. et al. Baltic Sea ice seasons in the twentieth century // Climate research. 2004. № 25(3). P. 217–227.
6. Tõnisson H., Orviku K., Jaagus J. et al. Coastal damages on Saaremaa Island, Estonia, caused by the extreme storm and flooding on January 9 // Journ. of Coastal Research. 2005. V. 24(3). P. 602–614.

ABRASION IN THE EASTERN GULF OF FINLAND COASTAL ZONE AND ITS RELATION TO LONG-TERM TRENDS OF REGIME-FORMING FACTORS

D.V. RYABCHOOK, A.M. KOLESOV, A.Yu. SERGEEV, M.A. SPIRIDONOV,
V.A. ZHAMOIDA, B.V. CHUBARENKO

Summary

Abrasion in the eastern Gulf of Finland coastal zone is favored by geological and geomorphologic factors, e.g. weakness of Quaternary deposits, sediment deficit, bottom and coastal relief. Extreme abrasion events occur as a result of coincidence of long-lasting western or south-western storms, high water level, and absence of stable sea ice during such events. In the last decade extreme erosion events took place during autumn-winter seasons of 2006-07 and 2011-12.